

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1922

THÈSE

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

IONOMÉTRIE
MÉDICALE

PAR

GEORGES CHANDEBOIS

Président : M. A. BROCA, Professeur

PARIS

AMÉDÉE LEGRAND, ÉDITEUR

93, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 93

1922



7

THÈSE
POUR
LE DOCTORAT EN MÉDECINE

7

FACULTE DE MEDECINE DE PARIS

ANNÉE 1922

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

IONOMÉTRIE MÉDICALE

PAR

GEORGES CHANDEBOIS

Président : M. A. BROCA, Professeur

PARIS

AMÉDÉE LEGRAND, ÉDITEUR

93, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 93

1922

Faculté de Médecine de Paris

DOYEN

M. ROGER

PROFESSEURS

MM.

Anatomie.....
Anatomie médico-chirurgicale.....
Physiologie.....
Physique médicale.....
Chimie organique et chimie générale.....
Bactériologie.....
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.....
Pathologie et Thérapeutique générale.....
Pathologie médicale.....
Pathologie chirurgicale.....
Anatomie pathologique.....
Histologie.....
Pharmacologie et matière médicale.....
Thérapeutique.....
Hygiène.....
Médecine légale.....
Histoire de la médecine et de la chirurgie.....
Pathologie expérimentale et comparée.....

NICOLAS
CUNEO
CH. RICHEL
André BROCA.
DESGREZ
BEZANÇON
BRUMPT
MARCEL LABBE
RENON
LECENE.
LETULLE
PRENANT
RICHAUD
CARNOT
LÉON BERNARD
BALTHAZARD
MENETRIER
ROGER
ACHARD
WIDAL
GILBERT
CHAUFFARD
MARFAN
NOBECOURT

Clinique médicale.....

Hygiène et clinique de la 1^{re} enfance.....
Clinique des maladies des enfants.....
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'en-
céphale.....
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.....
Clinique des maladies du système nerveux.....
Clinique des maladies contagieuses.....

N.
JEANSELME
PIERRE MARIE
TEISSIER
DELBET
LEJARS
HARTMANN
GOSSET
DE LAPPERSONNE
LEGUEU
BRINDEAU
JEANNIN
COUVELAIRE
J. L. FAURE
AUGUSTE BROCA
VAQUEZ
SEBILEAU
DUVAL
SERGENT

Clinique chirurgicale.....

Clinique ophtalmologique.....
Clinique des maladies des voies urinaires.....

Clinique d'accouchement.....

Clinique gynécologique.....
Clinique chirurgicale infantile.....
Clinique thérapeutique.....
Clinique oto-rhino-laryngologique.....
Clinique thérapeutique chirurgicale.....
Clinique propédeutique.....

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

ABRAMI
ALGLAVE
BASSET
BAUDOIN
BLANCHETIERE
BRANCA
CAMUS
CHAMPY
CHEVASSU
CHIRAY
CLERC
DEBRE
DESMAREST

DUVOIR
FIESSINGER
GARNIER
GOUGEROT
GREGOIRE
GUENIOT
GUILLAIN
HEITZ-BOYER
JOYEUX
LABBE (HENRI)
LAIGNEL-LAVASTINE
LANGLOIS

LARDENNOIS
LE LORIER
LEMIERRE
LEQUEUX
LEREBOLLETT
LERI
LEVY-SOLAL
MATHIEU
METZGER
MOCQUOT
MULON
OKINCZYC
PHILIBERT

RATHERY
REITTERER
RIBIERRE
ROUSSY
ROUVIERE
SCHWARTZ (A)
TANON
RICHAUD
TERRIEN
TIFFENEAU
VILLARET

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opi-
nions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être con-
sidérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner au-
cune approbation ni improbation.



A MON PÈRE (*in memoriam*)

A MA MÈRE

A MES SŒURS

A MA MARRAINE

MADemoiselle J. GROSSEUVRE

En témoignage de reconnaissance.

A MES MAITRES
DANS LES HOPITAUX DE PARIS

M. LE DOCTEUR BERGE
M. LE DOCTEUR DEMOULIN

Externat :

M. LE DOCTEUR WALTHER, 1913-1914
M. LE DOCTEUR OMBRÉDANNE, 1914 •
M. LE PROFESSEUR WIDAL, 1919-1920

A MM. LES DOCTEURS BAUMGARTNER et LEMIERRE

A M. LE DOCTEUR HOUZEL
Internat de Boulogne-sur-Mer

A MON PRÉSIDENT DE THESE

M. LE PROFESSEUR ANDRÉ BROCA

PROFESSEUR DE PHYSIQUE MÉDICALE A LA FACULTÉ
DE MÉDECINE DE PARIS

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
OFFICIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

PREMIÈRE PARTIE

IONISATION DES GAZ PAR LES RAYONS X (1)

I. *Données expérimentales.*

Dès leur découverte, on constata que les Rayons X jouissaient de la propriété de décharger les corps électrisés, et d'abaisser le potentiel explosif de l'air, ce que Hertz avait constaté pour les Rayons ultra violets en 1887.

En 1896, Benoît et Hurmuzescu démontrèrent que les Rayons X jouissaient encore de cette propriété, après avoir traversé un écran métallique relié au sol : ces rayons ne sont donc pas électrisés.

Il se produit une ionisation. Ce phénomène a reçu une explication étayée sur un grand nombre de faits et d'expériences. Il y a une parenté très étroite entre cette ionisation et l'émission corpusculaire d'un corps solide. L'étude de ce dernier éclaire le mécanisme de l'ionisation, en plus ce phénomène intervient dans l'ionisation même du gaz ionisé en contact avec un corps solide. Il est donc utile de l'étudier d'abord.

ÉMISSION CORPUSCULAIRE D'UN CORPS SOLIDE

En expérimentant dans le vide, et en se servant de corps à section rigoureusement nette, on a pu se rendre compte que les rayons X, en tombant sur ces corps, provoquaient l'émission de corpuscules d'électricité négative ou électrons, analogues aux rayons cathodiques primaires de l'ampoule, étant doués de la même masse et de la même vitesse.

Quel que soit le phénomène qui provoque l'autre, il y a une relation constante entre la vitesse des électrons et la fréquence de la radiation.

Einstein exprima ce fait dans la théorie des quanta par une forme classique $w = h \nu$ (ou $w =$ énergie cinétique de l'électron $= \frac{1}{2} m v^2$; $h =$ constante universelle de Plank; $\nu =$ fréquence de la radiation).

1. Curie et Sagnac, irradiant dans le vide deux métaux inégalement électropositifs (en l'espèce le Platine et l'Aluminium) avaient constaté en mesurant leur charge avant et après irradiation, que sous l'influence de cette dernière, tous les métaux émettaient de l'électricité négative, et ceci d'autant plus qu'ils sont plus électropositifs.

Dans l'air, à la pression normale atmosphérique, ce phénomène ne se produit pas. Ces auteurs en conclurent donc que les électrons étaient arrêtés dans l'air.

2. Dorn put préciser le phénomène par l'expérience suivante :

Il irradiia dans le vide une lame de platine, et plaçant une plaque photographique au-dessus de cette lame et

parallèlement à elle, vit que celle-ci était impressionnée par deux sortes de rayonnements : les uns magnétiquement déviables, les autres non magnétiquement déviables.

L'amplitude de la déviation par les champs magnétiques et électriques lui montra que les premiers rayonnements étaient constitués par des électrons qui avaient la même vitesse que ceux de l'ampoule. Le plus rapide avait la même vitesse que le plus rapide de l'ampoule.

3. Cet auteur, et après lui Beatty, firent rentrer de l'air progressivement dans une chambre analogue, et constatèrent que le rayonnement corpusculaire ne parvenait plus à la plaque au-dessus d'une certaine pression, l'énergie cinétique de ces corpuscules étant complètement absorbée par les chocs contre les atomes de l'air.

Ils constatèrent, en outre, que la face d'émergence du rayonnement émet plus de corpuscules que la face d'incidence.

IONISATION DES GAZ

Les atomes des gaz, ainsi que tous les corps, émettent des électrons. Cette émission dans les gaz a pour résultat particulier, l'ionisation.

En 1897, Perrin, continuant ses recherches sur la décharge des condensateurs, démontra que ceux-ci se déchargeaient sous l'influence de rayons, parce que l'air était rendu conducteur. Pour démontrer ce fait, il envoyait un mince faisceau de rayons X entre les deux lames d'un condensateur, ce faisceau ne touchait pas le métal et le condensateur se déchargeait.

Pour expliquer la conductibilité de l'air, il admit qu'au sein de celui-ci, sous l'influence des rayons, des masses électriques égales et de signes contraires prenaient naissance. Ces masses se meuvent le long des tubes de force du champ électrique, attirées qu'elles sont par les électricités de nom contraire. Arrivées sur ces lames, les masses électriques leur enlèvent une quantité d'électricité égale à la leur.

Il ajouta des données quantitatives sur ce phénomène, et on peut considérer cet auteur comme le précurseur de l'Ionométrie, soit en radiologie, soit en radio-activité.

Wilson (2) montra l'exactitude de l'hypothèse de Perrin dans une expérience remarquable.

On sait que dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau, une détente brusque produit une condensation de cette vapeur.

Cette condensation se produit sur les ions positifs seulement si le rapport de détente est de 1,25, sur les ions positifs et négatifs s'il est de 1,36, et sans ion au-dessus de 1,40.

Wilson détendait brusquement l'air saturé à 1,36 : au moment de cette détente ; automatiquement, il se produisait une décharge de bouteille de Leyde dans l'ampoule, et un faisceau de rayons X ainsi créé irradiait cette chambre ; d'autre part éclatait une étincelle électrique qui permettait de photographier instantanément le brouillard.

Un faible champ électrique permettait de dissocier les ions et de reconnaître leur signe.

Il constata :

1. Que les ions marchaient par pair.

2. Qu'à cette pression, leur trajet atteignait 2 centimètres au maximum et que ce trajet était d'autant plus sinueux qu'on le considérait plus loin du centre d'émission. Ce trajet des ions montre le trajet des électrons dont l'énergie cinétique diminue du fait de leur heurt continu sur les atomes d'air.

3. Que les ions positifs et négatifs étaient en nombre égal.

THÉORIE DE L'IONISATION

Ces faits étayaient fortement la théorie moderne de l'ionisation.

Un atome neutre est formé d'une masse d'électricité positive entourée de corpuscules d'électricité négative ou électrons dont le nombre est celui du nombre atomique. Ces électrons ont une charge de $4,7 \times 10^{-10}$ U. E. S. environ.

Le rayonnement a pour effet d'arracher des corpuscules superficiels à l'atome. L'énergie radiante perdue du fait de cet arrachement, se transforme en une énergie équivalente, énergie cinétique d'électrons.

Au point de départ, cette énergie cinétique est exprimée par la formule d'Einstein-Plank.

Les électrons ainsi mis en mouvement, vont butter contre les atomes du gaz qui se trouvent sur leur parcours, et de ce fait leur énergie cinétique tombe à 0. Les électrons en dernier ressort se fixent sur un atome.

L'atome qui a perdu un électron a donc une charge $= + e$ et, devient un ion positif, tandis que la molécule

neutre sur laquelle vient se fixer l'électron prend une charge $= -e$.

Le gaz est de ce fait ionisé. S'il est très raréfié, il coexiste en son sein des ions positifs et négatifs et des électrons.

Si la pression est notable, les ions positifs et négatifs seront susceptibles de fixer un nombre variable de molécules neutres en donnant naissance à des gros ions doués d'une faible mobilité. Un électron ionise un grand nombre d'atomes avant que son énergie cinétique ne tombe à 0.

Si le gaz n'est traversé par aucun champ électrique, les ions vont se recombinaison au hasard des rencontres et les atomes redeviendront des atomes neutres.

S'il est traversé par un champ électrique d'une certaine intensité, les ions sont attirés vers les lames du condensateur et vont les décharger pour redevenir des atomes neutres.

DONNÉES QUANTITATIVES

Ce phénomène d'ionisation, s'il se produit dans un champ électrique a pour effet de créer dans le gaz irradié un courant d'ionisation. Les facteurs qui influent sur son intensité sont nombreux et doivent être précisés.

INFLUENCE DU CHAMP ÉLECTRIQUE. COURANT DE SATURATION

Si l'on irradie l'air compris entre les deux lames d'un condensateur, et qu'on augmente progressivement leur différence de potentiel, en notant pour chaque différence la grandeur du courant d'ionisation, on constate :

1. Que lorsque le champ varie de 0 à 100 volts par centimètre, environ, le courant d'ionisation augmente et varie à peu près linéairement avec la grandeur du champ.

2. Au-dessus de cette valeur, le courant reste constant.

3. Au-dessus d'une certaine valeur, le courant augmente très rapidement et il se produit une décharge disruptive. Il se produit le phénomène d'ionisation par choc.

Dans le 1^{er} cas, le champ n'est pas assez intense pour drainer tous les ions : ceux-ci se recombinent.

Dans le 2^e cas, tous les ions formés sont attirés vers les lames du condensateur pour les décharger.

Influence du volume du gaz ionisé.

Perrin a démontré que l'intensité du courant d'ionisation entre les deux lames d'un condensateur était proportionnelle à l'angle solide du faisceau, et à son trajet. Il en conclut que le courant était proportionnel au volume du gaz ionisé.

Influence de la nature du gaz.

La nature de l'atome d'un gaz ionisé influe sur l'intensité du phénomène.

Pour les corps simples, Crowther a montré que la nature de l'atome d'un gaz ionisé influe sur l'intensité du phénomène.

Le courant d'ionisation dans des conditions identi-

ques était de 1 pour l'air ; 1,3 pour l'oxygène ; 0,3 pour l'hydrogène.

Pour les corps composés, il semble que ce phénomène dépende de la constitution moléculaire du corps, et non pas exactement du poids atomique additif des éléments comme l'absorption. Barkla (4) a démontré que le phénomène était plus intense dans SH^2 que dans SO^2 .

Relations entre l'Ionisation et l'Energie Röntgénienne qui traverse l'air de la chambre.

Perrin (5) démontra que l'intensité du phénomène était inversement proportionnelle au carré des distances pour un même rayonnement. Son intensité varie donc comme l'intensité de cette énergie.

L'Ionisation, pour un rayonnement d'une longueur d'onde donnée, dans une même chambre et pour une même pression représente une transformation d'une fraction constante de cette énergie.

Relations entre l'ionisation et la longueur d'onde.

Colvel et Russ (6), comparant l'action ionisante des rayons X et des rayons γ du radium, trouvèrent qu'un tube fonctionnant sous 19 cm. d'étincelle avait une action ionisante équivalente à celle produite par 8,8 gr. de radium et que cette équivalence monterait à 53,8 gr. si l'étincelle équivalente était abaissée à 9 cm.

Ces mesures ont été reprises par le docteur Salormon, qui s'est aidé pour la mesure du voltage du spintermètre et du voltmètre électrostatique d'Abraham et Villard. Il

conserva constante l'intensité du secondaire. Dans ces conditions l'ionisation augmente régulièrement avec la dureté des rayons X : le poids de radium donnant une ionisation équivalente augmente avec la dureté des rayons.

Grandeur du courant d'ionisation.

Le courant d'ionisation est un courant faible, dont la grandeur varie avec l'énergie absorbée par les gaz. Il varie généralement entre 10^{-10} à 10^{-15} Ampères. Pour cette raison, il doit être mesuré par des appareils spéciaux d'une grande sensibilité.

DEUXIÈME PARTIE

IONOMÈTRES MÉDICAUX

A. Exposé des considérations physiques qui président au choix d'un dispositif ionométrique.

Grossman de Charlottenbourg (7), dans un article critique sur les dosimètres, résume ainsi les conditions que ceux-ci doivent remplir pour mesurer la dose absorbée par la peau. Ces conditions sont les mêmes que pour mesurer les doses en profondeur.

I. La dose absorbée par le dosimètre, pour un rayonnement homogène de n'importe quelle dureté et par conséquent pour un rayonnement complexe de n'importe quelle composition, doit être proportionnelle à la dose absorbée par la peau.

II. Il faut que toujours les mêmes fractions de la dose absorbée par le dosimètre soit transformée dans l'énergie physique ou chimique dont nous mesurons l'action.

III. Les modifications produites dans le dosimètre doivent représenter une mesure exacte de cette énergie.

Dans cet exposé ; un terme reste vague : la peau.

Comme Guillemainot, il eut mieux valu employer le terme d'unité élémentaire de tissus : c'est-à-dire une épaisseur de tissus assez faible (1 mm. par exemple) pour que l'on puisse considérer constante l'absorption en tous les points. On peut considérer cette unité élémentaire aussi bien en surface qu'en profondeur.

Un dispositif hémométrique remplira les conditions édictées sous certaines réserves, qui sont une conséquence des lois qui régissent l'absorption, la fluorescence des rayons X, et l'émission de corpuscules d'électricité négative.

ABSORPTION DES RAYONS X PAR LES DIFFÉRENTS CORPS (8)

I Un rayon X part de l'anticathode et rencontre sur son chemin un atome que nous supposons isolé. Cet atome va par son interposition diminuer l'énergie de ce rayon.

La grandeur de cette diminution d'énergie, pour la majorité des longueurs d'onde, est exprimée par la loi de Bragg-Pierce :

$$\mu_{at} = K N^4 L^3$$

Où μ_{at} = l'absorption par l'atome K = un coefficient ; N = nombre atomique ; L = longueur d'onde.

Cette énergie perdue donne naissance à 3 phénomènes :

a Un rayonnement diffus secondaire qui a la même longueur d'onde que le rayonnement générateur.

b Un rayonnement caractéristique d'une longueur

d'onde donnée qui est variable selon l'élément considéré ; et qui caractérise cet élément dans la spectrographie des rayons X.

Ces raies appartiennent à une longueur d'onde d'autant plus courte que l'élément a un poids atomique plus élevé, et ceci pour les différentes raies K, L.

Les longueurs d'onde du rayonnement caractéristique sont plus grandes que celles qui lui ont donné naissance.

c Un rayonnement corpusculaire, dont une faible partie s'échappe de la substance si elle est solide, qui l'ionise si elle est gazeuse.

PHÉNOMÈNE DE L'ABSORPTION SÉLECTIVE

La loi de Bragg-Pierce régit l'absorption des rayons X par les différents corps pour la majorité des longueurs d'onde ; mais l'énergie Röntgenienne est absorbée en quantité beaucoup plus grande que ne le laisserait supposer cette loi, quand le rayonnement est représenté par des ondes d'une longueur déterminée, variable selon les atomes. — Les longueurs d'ondes sélectivement absorbées sont d'autant plus courtes que le nombre atomique de l'élément est plus élevé.

Pour ces longueurs d'onde, il y a une discontinuité dans la courbe qui régit l'absorption de cet atome.

Barkla et ses collaborateurs, ont étudié les relations énergétiques qui existent pour chaque émission sélective, entre le rayonnement X caractéristique et le rayonnement électrotonique.

Pour une longueur d'onde juste un peu plus courte que celle de la discontinuité, l'énergie réémise en rayons caractéristiques correspondant est voisin de la moitié de celle absorbée sélectivement dans la bande de même nom. Lorsque la longueur d'onde diminue, cette énergie diminue presque proportionnellement et ne devient plus qu'une très petite fraction de l'énergie sélectivement absorbée. L'énergie complémentaire est celle qui est communiquée aux électrons expulsés.

On voit que les discontinuités des atomes voisins de celui considéré, auront pour effet de bouleverser les rapports qu'il y a entre les électrons qu'il reçoit de ceux-ci et le rayonnement diffus ou caractéristique. La quantité de ce rayonnement caractéristique varie énormément. Si bien que sur le rayonnement de l'anticathode vient se greffer une quantité importance d'autres rayonnements dans une proportion impossible à prévoir quand on est au voisinage des discontinuités.

En pratique, les corps qui présentent le phénomène de l'absorption sélectique sont ceux dont le nombre atomique est plus élevé que l'aluminium. Les autres corps ne le présentent pas en pratique ; l'expérience n'a jamais pu le démontrer même pour les longueurs K ; mais par extrapolation de la formule de Moseley, on peut se rendre compte que ces corps certainement présentent le phénomène pour des longueurs d'onde absorbées avant d'avoir pu sortir de l'ampoule.

Quoiqu'il en soit, il n'y a pas à en tenir compte en pratique.

Absorption du corps humain

La majeure partie des éléments qui composent l'organisme sont des corps dont le poids atomique est inférieur à 24. Ils ne présentent donc pas dans le domaine usuel des longueurs d'onde employées le phénomène de l'absorption sélective (hydrogène, oxygène, azote, sodium).

Quelques corps : le calcium, le chlore, qui présentent le phénomène sont en quantité relativement faible.

D'une façon approchée, nous pouvons considérer l'organisme comme un corps ne présentant pas ce phénomène.

Absorption comparée de l'air et des tissus

Ces données théoriques nous permettent de concevoir qu'il y aura un certain parallélisme entre l'absorption de l'air et l'absorption des tissus.

Des mesures très précises de Friedrich (13 bis) ont montré que le rapport d'absorption de l'air par rapport aux tissus était de 0,75 pour un rayonnement non filtré et de 0,77 après le passage de ce même rayonnement à travers un filtre de cuivre de 1 mm. — 1 centimètre d'air absorbe la même quantité d'énergie radiante que 1/800 centimètre de tissus.

Une partie toujours constante de l'énergie radiante de l'air est transformée en travail d'ionisation puisque l'air ne présente pas le phénomène de l'absorption sélective.

Il résulte de ces faits, que si une couche d'air est mise en lieu et place d'une couche élémentaire de tissus, le

travail d'ionisation au sein de cette première est dans un rapport constant avec l'énergie absorbée par cette dernière.

CONDITIONS QUE DOIT REMPLIR LA PAROI DE LA CHAMBRE
D'IONISATION

Pour mesurer l'ionisation d'un volume déterminé d'air, il faut l'enfermer dans une enceinte.

Cette enceinte influe sur le travail d'ionisation de l'air et le choix de la paroi est d'une importance capitale pour les raisons suivantes :

a. L'entrée des rayons doit se faire avec le minimum de perte d'énergie : pour cette raison leur porte d'entrée doit être composée de substances dont le poids atomique ou des constituants est aussi faible que possible.

b. Dans toute son étendue, elle doit présenter aucun matériel dans la composition duquel existent des corps simples dont le poids atomique est égal ou supérieur à 24, sous peine d'exciter la fluorescence pour certaines longueurs d'onde et de troubler l'émission électrotonique normale de ce corps. Les atomes de l'air absorberaient avec le rayonnement de l'anticathode des ondes de longueurs plus faibles (rayonnement caractéristique) dans des proportions impossibles à prévoir. Les mesures seraient faussées surtout au niveau des discontinuités d'absorption de la paroi.

c. *Action adjuvante et empêchante de la paroi sur l'ionisation de l'air de la chambre.*

Il est démontré que la paroi de la chambre, en dehors

de tout rayonnement caractéristique, joue un rôle important sur l'ionisation de la chambre en émettant des électrons dans l'enceinte gazeuse.

Becker et Høltuzen ont montré que la paroi avait une action empêchante sur la formation des ions, si elle est à une distance du centre d'émission inférieure à leur rayon d'action.

Ils démontrèrent que les rapports de l'action ionisante de l'air à celles des différents matériaux qui pouvaient entrer dans la construction de la chambre étaient les suivants :

Pour l'aluminium 0,71.

Pour le papier 0,14.

Pour le charbon 0,09.

Pour la paraffine 0,08.

Grâce au calcul et à l'expérimentation, ils arrivèrent à démontrer que dans certaines conditions, ces actions adjuvantes et empêchantes pouvaient se compenser pour toutes les longueurs d'onde et pour toutes les dimensions de la chambre d'ionisation. Il en est ainsi pour une chambre dont la paroi est de paraffine.

CONCLUSIONS A TIRER POUR LA CONSTRUCTION DE LA CHAMBRE

L'air servira de milieu à ioniser.

La paroi de la chambre sera de graphite : sans donner aussi rigoureusement cette compensation que la paraffine, le graphite a des qualités pratiques : solidité, conductibilité électrique.

Mais ce graphite doit être très pur. Il ne doit contenir aucune trace de fer. On se rappelle que Benoît avait trouvé que le graphite n'obéissait pas à la loi générale d'absorption atomique. Les traces de fer que ce graphite contenait étaient causes des erreurs.

L'APPAREIL DE MESURE

L'appareil destiné à mesurer le courant d'ionisation ne doit recevoir aucune radiation. Il se produirait une ionisation parasite qui fausserait complètement les calculs. Pratiquement, on l'entourera d'un corps très opaque comme le plomb. Cette manière de faire aura aussi pour avantage de former cage de Faraday autour de cet appareil de mesure et ainsi de le mettre à l'abri des variations électrostatiques.

Il devra être éloigné de la chambre d'ionisation, ce qui permettra au radiologue de se protéger.

Le courant d'ionisation est très faible. Quels sont les appareils qui peuvent le mesurer :

Galvanomètre de Paschen.

Ce galvanomètre très sensible ne peut mesurer que les courants au-dessus de 10^{-10} ampères. Il est de plus un intensimètre, non un totalisateur.

Electromètre à quadrant de Dolzsch.

Une feuille mince suspendue par un fil peut se déplacer entre deux paires de quadrants isolés à l'ombre. Le fil de suspension porte à sa partie inférieure un petit miroir qui permet de projeter l'image de l'aiguille grâce à un éclairage judicieusement disposé.

S'il y a une différence de potentiel entre la feuille et une paire de quadrants, celle-ci tourne et son image se déplace d'un certain nombre de divisions sur l'échelle graduée.

Soit α l'angle de déviation ; q la quantité d'électricité traversée par le gaz ionisé ; C la capacité de l'électromètre.

$$\alpha = \frac{q}{C}$$

Il faudra donc régler chaque appareil puisque sa capacité varie. La sensibilité d'un tel appareil varie entre 10^{-8} et 10^{-14} ampères.

Electromètre de Villard.

L'électromètre de Villard est une sorte d'électromètre à quadrant de Lord Kelvin. Il sera décrit avec le quantitomètre de cet auteur. Il permet de totaliser les charges qui sont communiquées à la feuille.

Electroscope à feuille d'or ou d'aluminium.

2 feuilles de ces métaux accolées s'écartent lorsqu'elles sont chargées d'électricité, l'angle de déviation est proportionnel à la charge.

Ces électroscopes peuvent mesurer des charges de 10^{-17} coulombs.

Les appareils de mesures devront être à faux zéro, ce zéro correspondant au moins au potentiel le plus bas du courant de saturation.

Charge des appareils.

Ces appareils de mesure peuvent être chargés par une batterie d'accumulateurs ; mais le plus simple est de les charger avec une machine électrostatique.

L'appareillage devra être d'un maniement aussi simple que possible. Ceux qui sont appelés à pratiquer des mesures ionométriques ne sont pas toujours des physiciens consommés, que ce soient des médecins ou leurs aides.

Les dispositifs ionométriques sont nombreux. Le premier créé fut celui de Villard, qui resta ignoré, employé seulement par son auteur. De nombreux modèles furent créés en Allemagne. En France à l'heure actuelle il n'en existe qu'un modèle celui du docteur Solomon, construit par la maison Ropiquet, et qui semble le meilleur des dispositifs connus à l'heure actuelle.

DESCRIPTION DES APPAREILLAGES

QUANTITOMÈTRE DE VILLARD (10)

Villard est le premier physicien qui a construit en 1908, un appareil de mesure basé sur le phénomène de l'ionisation.

Cet appareil qu'il nomma Quantitomètre comprend : Une chambre d'ionisation, une batterie d'accumulateurs, un électromètre à quadrants et un compteur de tours.

La chambre d'ionisation comprend : une boîte métallique construite en métal lourd, percée à sa partie supé-

rieure d'une fenêtre transparente en aluminium battu, et une électrode centrale métallique.

La boîte est maintenue à un potentiel constant par sa connexion avec le pôle négatif d'une batterie d'accumulateurs. Ce pôle négatif est relié d'autre part à une paire de quadrants de l'électromètre.

L'électrode centrale est reliée à l'aiguille de l'électromètre. Les deux autres quadrants de l'électromètre sont reliés au pôle positif de la batterie. D'autre part, ce pôle positif est relié à un petit butoir sur lequel vient pour se décharger, cogner, un prolongement de l'aiguille de l'électromètre.

Au départ, l'aiguille de l'électromètre est sur la paire de quadrants reliée à la boîte. Sous l'action ionisante des rayons, le potentiel commun de l'aiguille de l'électromètre et de l'électrode interne tend à devenir égal à celui de la boîte. L'aiguille dévie et va vers le butoir. Là, elle se charge d'électricité positive, et est attirée vers son point de départ. Il se produit ainsi une série de mouvements de va et vient. Un compteur permet de les totaliser. De grosses difficultés de construction ont existé pour que l'aiguille de l'électromètre fonctionne aisément tout en faisant marcher le compteur et de plus, pour que l'aiguille ne démarre que pour une charge bien déterminée.

Dans cet appareil, la chambre d'ionisation est défectueuse, étant formée de métal lourd. Elle est trop rapprochée de l'électromètre ; mais l'éloigner aurait été chose facile, ainsi que l'avait proposé Villard lui-même. On n'a pas à tenir compte de la variation de capacité du conduc-

teur souple ; à ce point de vue, il est plus précis que les appareils actuels.

Cet appareil était un gros progrès sur les autres instruments de mesure. Malheureusement, il est resté dans l'oubli. Il aurait pu donner naissance à d'autres qui l'auraient perfectionné. Guillemillot estime qu'un mouvement de va et vient correspond à $1/5$ d'unité II (approximation suffisante pour les besoins de la pratique).

IONTOQUANTITOMÈTRE DE SZILLARD (II)

L'Iontoquantitomètre de Szillard comprend : une chambre d'ionisation, un conducteur souple et un appareil de mesure. La chambre d'ionisation est construite en plomb. A sa partie supérieure elle est percée d'une fenêtre obturée par une feuille d'aluminium donnant passage au rayonnement. Cette chambre est suffisamment petite pour être introduite dans les cavités naturelle (Rectum, vagin).

Le conducteur souple est composé d'un conducteur central relié à l'électrode centrale de la chambre d'ionisation, d'un isolant entourant ce conducteur, d'une enveloppe métallique reliée à la terre.

L'appareil de mesure est un électroscope formé d'une aiguille d'aluminium, pivotant sur pierre, tenue en son centre par un spirale et d'une tige fixe.

Un petit appareil électrostatique permet de charger l'électroscope ; un interrupteur permet de mettre ces deux dernières parties en relation ou d'interrompre celle-ci. L'aiguille diverge sous l'influence de la charge et

proportionnellement à elle ; sous l'influence des rayons, elle tombe à 0.

La chambre de cet appareil est sujette aux mêmes critiques que celle de Villard. Cet appareil qui a joui d'une grande vogue en Allemagne, tend à être remplacé par celui de Friedrich que nous allons étudier.

IONTOQUANTITOMÈTRE DE KUPFERLE ET LILIENFELD (12)

Dans cet appareil peu employé, l'appareil de mesure est un électroscope à feuille d'or chargé avec un bâton d'ébonite frotté sur un morceau de drap.

La chambre d'ionisation est accolée à l'électroscope. Elle est précédée par une longue lunette qui délimite un faisceau de rayons X très étroit, destiné à ioniser l'air. Cette chambre est métallique. L'électrode centrale qui a la forme d'un plateau l'est aussi.

IONTOQUANTITOMÈTRE DE FRIEDRICH ET KRÖNIG (13)

Cet appareil est le meilleur d'outre Rhin. Il comprend les mêmes parties que celui de Szilard.

L'appareil de mesure est un électroscope de Wulf. Cet électroscope est formé essentiellement de deux files de Quartz, longs de 5 mm. environ et rendues conducteurs par une mince couche d'argent. Leurs extrémités inférieures sont soudées à un petit morceau d'étain qui tend les files. On charge l'électroscope au moyen d'une batterie d'accumulateurs donnant environ 200 volts. On peut

réduire la sensibilité de l'appareil de moitié en augmentant sa capacité au moyen d'un condensateur plan à air.

Dans cet appareil, l'écartement des files de Quartz est très petit, aussi ne peut-on le mesurer qu'au moyen d'un télémicromètre.

La chambre d'ionisation est constituée par une paroi formée d'une corne de buffle, rendue conductrice sur sa face externe par un enduit de graphite. L'électrode centrale est de graphite. L'appareil de mesure et la chambre d'ionisation sont reliés par un long câble souple bien isolé, dans le genre de celui de l'appareil de Szilard.

Cet appareil est le premier qui a été construit avec une chambre d'ionisation irréprochable, qui donne un parallélisme d'absorption entre l'appareil et les tissus.

IONOMÈTRE DE DESSAUER

L'Ionomètre de Dessauer, employé par Coolidge, est à peu près le même appareil que celui de Kupferle.

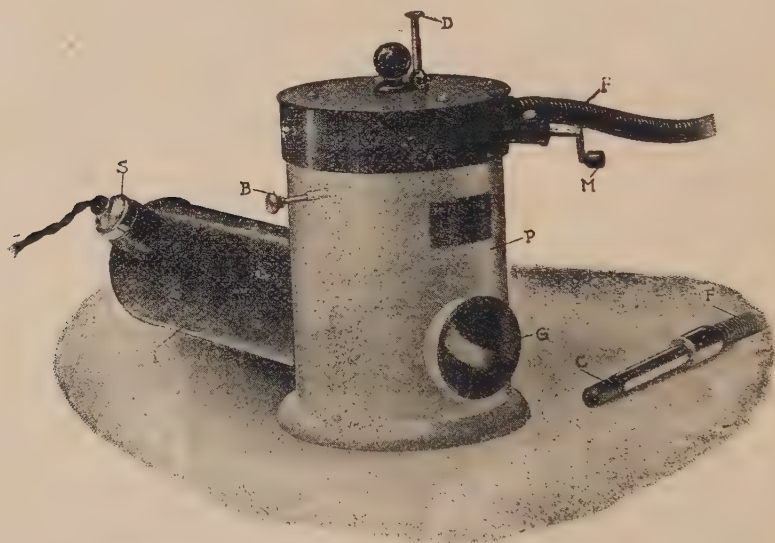
IONOMÈTRE DU DOCTEUR SOLOMON (14)

Ce dispositif est le seul existant en France à l'heure actuelle. Nous le décrirons plus longuement que les autres puisque c'est celui dont on sera le plus souvent appelé à se servir. Avec celui de Friedrich, c'est le plus exact, son maniement est de plus beaucoup plus simple, l'appareil de mesure étant un simple électroscope à feuille d'or ou d'aluminium, chargé par une machine électrostatique très simple.

Un appareil de mesure, une chambre d'ionisation, un conducteur constituent les parties essentielles de ce dispositif.

L'appareil de mesure est établi dans une chambre de plomb de 4 mm. d'épaisseur, qui sert de bâti à l'appareil, de protecteur contre le rayonnement qui amènerait une ionisation parasite, et aussi de cage de Faraday ; elle est reliée à la terre.

Sur cette enveloppe, un *système optique* destiné à pouvoir suivre les déviations de la feuille de l'électroscope est ainsi greffé :



Une *lentille* de verre au plomb est placée dans une fenêtre ménagée à la partie antérieure de la chambre de plomb.

Du côté opposé et à sa hauteur, un cylindre horizontal ouvert dans la chambre, loge une lampe électrique éclairant la lentille.

Une *glace dépolie*, parallèle à la lentille et servant de quadrant, est placée sur le trajet de la lumière pour recevoir la projection de l'aiguille de l'électroscope. Ce quadrant est gradué de 10 à 60.

L'*électroscope* à feuille d'or ou d'aluminium comprend une tige fixe et une feuille mobile. La feuille est collée à la tige au niveau de sa partie supérieure fixe. Sous l'influence de la charge, elle s'éloigne de la tige par sa partie inférieure, et se déplace le long du quadrant destiné à mesurer ses déplacements.

La tige est maintenue par un bouchon isolant situé au-dessous de la boule. Ce bouchon vient se greffer dans un système à douille maintenu par un couvercle intérieur. Ce système permet la rotation de l'aiguille que l'on mettra dans le plan du quadrant.

Un *chargeur électrostatique* permet de charger cet électroscope : il est constitué par un bâton d'ambre frottant sur une peau de chamois. Le bâton d'ambre est actionné par une manivelle située sur les côtés et en haut de l'enveloppe. Quelques tours seulement sont nécessaires pour charger l'électroscope.

Un *déchargeur* situé sur le couvercle permet de décharger doucement l'électroscope si l'on a dépassé la graduation que l'on voulait atteindre.

Un *condensateur* à lames d'air peut entrer en connexion avec l'électroscope pour constituer une capacité additionnelle : la sensibilité de l'appareil est ainsi diminuée : La décharge de l'appareil se produisant en 4,5 fois plus de temps.

L'armature isolée de ce condensateur est constituée par

un tube en laiton compris entre la paroi de l'appareil et un tube intérieur formant la seconde armature reliée à la masse.

L'armature isolée est suspendue par une collerette située à sa partie supérieure, reposant par trois cales en ambre sur une collerette parallèle du tube intérieur.

La connexion entre l'électroscope et la capacité additionnelle est établie naturellement par une lame à ressort. Un bouton de connexion permet de pousser cette lame et de supprimer ainsi la capacité additionnelle.

Un ressort de liaison réunit la boule de l'électroscope à la tige conductrice amenant le courant de la chambre d'ionisation à cet appareil de mesure.

La chambre d'ionisation est constituée par un tube de graphite et par une tige de graphite centrale. Cette chambre est isolée par une monture d'ambre et est terminée par un contact à ressort qui par le jeu d'un assemblage prend point d'appui sur l'extrémité du conducteur.

Ses dimensions lui permettent, si l'on le désire, d'être introduite dans les cavités naturelles.

Le conducteur relie l'appareil de mesure à la chambre d'ionisation.

Il se compose d'un fil d'acier central recouvert par une enveloppe parfaitement isolante formée de 3 tronçons.

a) Un *tronçon moyen ou intermédiaire*, entièrement rigide, et ayant une longueur de 1 m. 50 et éloignant l'appareil de mesure de l'ampoule.

b) Un *tronçon flexible*, situé du côté de l'appareil de mesure, est formé par une série d'olives isolantes et rentre en connexion avec le ressort à boudin qui le relie à la boule de l'électroscope.

c) Un *tronçon flexible* situé du côté de la chambre d'ionisation, se termine par un bouchon sur lequel prend contact le ressort isolé de la chambre d'ionisation.

On recouvre ce tronçon d'une substance opaque destinée à supprimer à ce niveau l'ionisation parasite.

Cet appareil répond à toutes les données connues jusqu'à ce jour.

Au point de vue électrostatique, il est entaché d'une erreur due à la variation de capacité du conducteur ; mais cette erreur est faible.

L'humidité peut gêner la charge de l'électroscope, aussi doit-on s'en servir dans un lieu sec. De l'or muissif permet dans le cas d'humidité d'amorcer la machine électrostatique.

Au point de vue de la chambre d'ionisation, cet appareil est le meilleur avec celui de Friedrich.

TROISIÈME PARTIE

EMPLOI DE LA MÉTHODE IONOMÉTRIQUE (15)

La méthode ionométrique nous permet de mesurer des doses absorbées en surface et en profondeur. L'ionomètre, en nous permettant ces mesures, est donc un quantimètre. Mais en comparant les doses reçues à la surface et en profondeur, dans certaines conditions, l'ionomètre pourra servir de qualitomètre.

Les mesures de qualitométrie étaient effectuées autrefois avec le radiochromomètre de Benoît, ou les appareils similaires qui en sont dérivés. Ces instruments peuvent rendre des services en Radiographie, mais aucun en radiothérapie. Ils ne sont utiles que pour les faibles longueurs d'onde pour lesquelles l'argent présente le phénomène de l'absorption sélective.

Actuellement, la véritable méthode qualitométrique, est l'analyse spectrale par le prisme tournant ; mais cette méthode, d'un emploi délicat et long, n'est encore qu'une méthode de laboratoire.

Pour les besoins de la pratique médicale, pour qualifier la quantité d'un rayonnement, mieux vaut introduire la notion de la diminution de l'énergie Rontgœn-

nienne par suite de son passage à travers un corps donné. Pour ce faire deux méthodes restent en présence.

La première consiste à désigner cette qualité par l'épaisseur d'un corps, nécessaire pour réduire ce rayonnement de moitié : c'est ce que les Allemands désignent sous le nom d'*Halbwertschicht*.

La seconde consiste à chercher le taux de transmission dans des conditions bien déterminées avec un étalonneur ionométrique.

Cette deuxième façon de procéder, devient de plus en plus d'un usage courant.

L'étude de l'emploi de la méthode ionométrique est donc à faire tant au point de vue de la quantitométrie que de la qualitométrie.

EMPLOI DE L'IONOMÈTRE COMME QUANTITOMÈTRE

A. *Mesure des doses superficielles.*

1. Etalonnage préalable de l'ampoule.

Nous pouvons, avec un appareillage à débit constant, mesurer la dose reçue en surface avec ou sans filtration par un étalonnage préalable.

Le constructeur indique pour chaque appareil le nombre d'unités R absorbées par la chambre d'ionisation quand l'aiguille de l'électroscope tombe de la division 60 à la division 10.

On placera la chambre d'ionisation à une distance de l'anticathode égale à celle où sera la peau du sujet pendant le traitement. On la maintiendra en place dans un

plateau porte chambre. Sous ce nom, on désigne un disque de bois creusé selon un de ses rayons d'une cavité destinée à recevoir la chambre d'ionisation.

On utilise la petite capacité. On charge l'électroscope à la division 60, puis on irradie la chambre. On mesure au chronomètre le temps de chute jusqu'à la division 10.

Soit le temps de chute ; K le coefficient donné par le constructeur.

L'intensité de l'énergie radiante par seconde $= \frac{K}{t}$
unités R.

On pourra en déduire le temps nécessaire pour donner un nombre déterminé d'unités R à la peau.

Exemple : Nous voulons donner 100 R ; on sait que $K = 110$; le temps de chute a été de 70 secondes.

Chaque seconde nous donne $\frac{110}{70}$

70

110×1000

Pour donner 1000 R, il faudra $\frac{110 \times 1000}{70}$ secondes =

26' 15".

2. *Mesure de la dose reçue à la superficie pendant la séance d'irradiation.*

On placera son malade dans la position désirée, et on l'irradiera après avoir mis entre le localisateur et la porte d'entrée le plateau porte chambre, dans lequel on aura disposé la chambre d'ionisation. Par avance, on aura cal-

culé le nombre de divisions qui correspondent à la dose que l'on se propose de donner.

L'irradiation sera arrêtée quand ce nombre de divisions sera atteint.

En cours de traitement, il est très facile de recharger l'électroscope une fois que celui-ci atteint la division 10. L'opération se fait en quelques secondes. Ainsi, sans arrêter le traitement, on peut mesurer une dose qui répond à plusieurs décharges de l'appareil.

MESURES DE LA DOSE REÇUE EN PROFONDEUR

Pour mesurer la dose reçue à l'intérieur de l'organisme, on peut parfois introduire l'ionomètre dans une cavité naturelle (rectum, vagin), on mesure la dose comme précédemment.

MESURE DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION D'UN FILTRE

Rien n'est plus facile que de mesurer le coefficient de transmission d'un filtre : L'ionomètre disposé de la même façon que dans la première expérience, on mesure le temps de chute de la feuille de l'électroscope pour un certain nombre de divisions.

Soit t , ce temps. Dans les mêmes conditions électriques et à la même distance, on mesure le temps de chute alors qu'un filtre d'une épaisseur donnée est interposé entre l'ampoule et l'ionomètre.

Le rapport des intensités $\frac{t'}{t''} = \frac{t'}{t''}$ exprimera le coefficient de transmission.

Exemple : avant filtration, la chute pour 11 divisions s'est produite en 10 secondes ; après filtration, pour les n division s'est produite en 30 secondes.

$$\text{Le coefficient de transmission} = \frac{10}{30} = \frac{1}{3}$$

On dira que ce filtre a absorbé les $\frac{2}{3}$ de l'énergie totale de cette radiation.

MESURE DU TAUX DE TRANSMISSION DANS LES TISSUS

Généralités.

Perthes avait admis que l'absorption des rayons X par 1 millimètre d'aluminium équivalait à l'absorption de 1 centimètre de tissus. Mais Freidrich et Krönig ont mon-

aluminium

tré que le rapport d'absorption $\frac{\text{aluminium}}{\text{tissus}}$ (en compa-

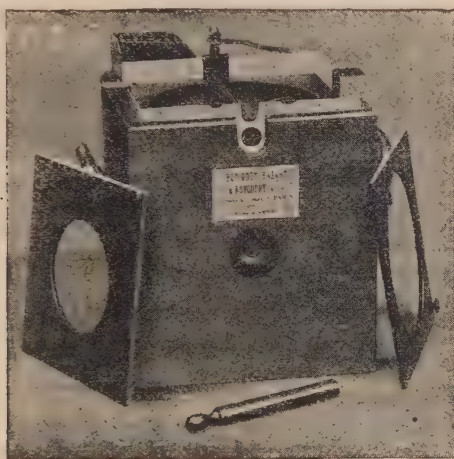
rant les épaisseurs indiquées ci-dessus) variant de 0,91 à 0,48 quand on augmentait le pouvoir de pénétration des rayons.

L'étalonnage des doses en profondeur, basée sur l'absorption de l'aluminium, est donc à rejeter.

L'eau a une absorption beaucoup plus parallèle par rapport aux tissus. Son absorption est à peu près égale à eux, à une approximation de 2 pour 100 près.

ÉTALONNEUR IONOMÉTRIQUE

Cette égalité d'absorption a pour résultat que l'on peut se rendre compte des doses reçues en profondeur par l'organisme, en mesurant les doses reçues à une certaine profondeur dans l'eau. Des appareils spéciaux ont été construits dans ce but : ce sont les étalonneurs ionométriques ou Phantoms. Il en existe deux modèles ; le Phantom de Freidrich, et le modèle français du docteur Solomon ou étalonneur ionométrique.



C'est une cuve étanche que l'on remplit d'eau. Un couvercle métallique percé d'une fenêtre ronde indique la partie supérieure du niveau d'eau. Deux tubes de cellulose pénètrent la cuve dans le sens horizontal : ces deux tubes sont fermés à l'intérieur de la cuve, et ouverts sur les côtés de celle-ci, ils permettent de recevoir la chambre d'ionisation sans la mouiller.

Le tube supérieur effleure le niveau du liquide. L'axe du tube inférieur, est à 10 centimètres au-dessous de l'axe du tube inférieur.

Sur le cadre métallique, on peut poser des diaphragmes de diamètres différents (généralement 10 et 15 centimètres).

Un bouchon en bois sera introduit dans le tube supérieur pendant la mesure en profondeur, pour ne pas fausser les calculs par suite de la substitution de l'air à l'eau.

Un doigt à ressort permet de maintenir le plateau porte chambre, si on désire l'employer.

L'emploi de l'étalonneur ionométrique tend de plus en plus à rentrer dans la pratique courante.

MESURE DU TAUX DE TRANSMISSION DANS L'ORGANISME (APPLICATION)

Le taux de transmission sera étudié en connaissant :

- 1° Le voltage que l'on emploie.
- 2° La distance anticathode-peau.
- 3° Le filtrage des rayons.
- 4° La surface de la porte d'entrée.

Il faut toutes ces données pour effectuer une mesure correcte de l'énergie en profondeur. Mais cette façon d'agir est la seule qui à l'heure actuelle permette de bien connaître les doses que l'on donne à la superficie et en profondeur.

Emploi de l'Ionomètre comme qualitomètre ; taux de transmission étalon.

Le calcul ne nous permet pas de déterminer les doses reçues en profondeur. Les données classiques font dépendre ces doses de deux facteurs :

1° La distance de l'anticathode au point considéré (loi du carré des distances).

2° De l'absorption des tissus.

Dans les formules tirées de ces notions, on ne met pas en ligne de compte la surface de la porte d'entrée, le volume du corps qui jouent un grand rôle puisqu'ils influent sur la quantité de rayonnement diffusé. Ce dernier est loin d'être négligeable. Freidrich cite des chiffres précis à ce sujet. Une dose calculée par la formule exponentielle était de 8,4 pour cent à dix centimètres de profondeur ; en effectuant des mesures, on l'a trouvée égale à 31 pour cent, le rayonnement diffus à eu pour effet de tripler la dose.

Pour caractériser la qualité du rayonnement filtré ou non filtré, on a proposé un taux de transmission étalon en tenant compte de ces données. Ce taux étalon est défini :

1° Pour une profondeur de 10 centimètres dans l'eau.

2° Pour un faisceau passant par une porte d'entrée circulaire de 10 centimètres de diamètre.

3° Pour une distance peau-anticathode de 30 centimètres. On effectuera les mesures avec le Phantom comme précédemment.

Ce taux étalon est des plus utiles à connaître. A simple lecture d'un tableau dressé, on peut se rendre compte de l'importance de la filtration.

Le docteur Solomon a dressé le tableau de transmission étalon pour une tension ayant une étincelle équivalente de 25 centimètres entre pointes.

FILTRE (en millimètres)	TAUX de transmission étalon	FILTRE (en millimètres)	TAUX de transmission étalon
0.....	5,7 %	9.....	16,9 %
1 d'aluminium.....	9,5 —	10.....	17,8 —
2.....	11,2 —	11.....	18,0 —
3.....	12,5 —	12.....	18,1 —
4.....	13,5 —	13.....	18,2 —
5.....	14,5 —	14.....	18,3 —
6.....	15,4 —	15.....	18,4 —
7.....	15,9 —	0,5 de cuivre.....	19,7 —
8.....	16,2 —	1 de cuivre.....	21,3 —

Ainsi il peut être facile de calculer la durée d'irradiation, le nombre de portes d'entrée, pour qu'un organe reçoive une dose déterminée. Il s'agit de résoudre un problème physique simple. Ceci ne veut nullement dire que nous soyons sûr d'avoir administré la bonne dose, puisque nous n'avons que des indications peu précises sur les doses à donner dans chaque cas, et qu'en matière de radiothérapie, il n'y a à tenir compte d'une idiosyncrasie impossible à prévoir.

Unités de mesure en ionométrie médicale (16)

La méthode ionométrique a donné lieu à une série d'unités de mesure, les unes arbitraires, les autres basées

sur des données physiques. Mais les bases physiques proposées sont inégalement justes. Nos connaissances actuelles semblent donner la préférence à l'étalonnage par une quantité déterminée de radium élément.

UNITÉS ARBITRAIRES

Certains auteurs ont adoptés comme unité de mesure la quantité de rayons capable de produire la décharge de leur dispositif.

Cette façon d'agir a pour effet de créer autant de poids et mesures qu'il y a d'ionomètres.

UNITÉS PHYSIQUES

1. *Unités basées sur l'intensité du courant d'ionisation.*

Villard avait annoncé qu'il graduerait son quantitomètre, en unité d'énergie Rontgœnienne capables de libérer une unité électrostatique. En d'autres termes, l'unité de quantité absorbée serait la quantité capable de libérer cette unité électrostatique.

Szilard considérant que la libération d'une unité électrostatique est l'effet du phénomène d'ionisation et non ce phénomène lui-même, propose comme unité d'énergie celle capable de former un million de fois un million d'ions. Il désigne cette unité sous le nom de mégamégaïon.

Mais la libération d'unités d'électrostatiques ou la formation d'ions sont proportionnelles au volume de la chambre d'ionisation. Freidrich, pour cette raison, propose d'adopter comme unité d'énergie Rontgœnienne

l'unité e ; c'est-à-dire la quantité d'énergie capable de libérer dans 1 cm^3 d'air une quantité d'électricité égale à une unité électrostatique.

$C \propto$

Le courant d'ionisation est $i = \frac{\text{C} \alpha}{300}$ pour une
chambre de 1 cm^3 .

C = capacité de tout le système de mesure. L = angle de déviation de la feuille pendant l'expérience. L' = Angle de déviation de la feuille pour une différence de potentiel de 1 volt.

Il s'en suit, pour une chambre d'un volume quelconque, que le nombre d'unités e reçues dans le quantitomètre

$C (V - V')$

répond à la formule suivante $e = \frac{\text{C} (V - V')}{300 \times \text{cm}^3}$

$V - V'$ = différence de potentiel avant et après irradiation ; $x \text{ cm}^3$ = volume de la chambre d'ionisation en cm^3 .

D'après cet auteur, par cette formule, tout dispositif ionométrique peut être gradué en unité e .

Les influences de la paroi de la chambre sur l'ionisation du gaz, connues par les travaux de Becker et Holtuzen, ont pour effet que la libération d'une unité électrostatique dans deux dispositifs différents, correspond à l'absorption de quantité différente d'énergie Röntgénienne. Ceci est non seulement vrai pour deux dispositifs dissemblables, mais pour des dispositifs identiques.

Des mesures très précises de MM. Roycourt, Lange et

du docteur Solomon ont montré qu'une dose d'érythème était produite par un rayonnement qui avait libéré 170 U. E. S. dans l'ionomètre de Freidrich, et 8 fois autant dans l'ionomètre français.

ÉTALONNAGE AVEC UNE QUANTITÉ DÉTERMINÉE DE RADIUM-ÉLÉMENT

Le parallélisme d'absorption entre une chambre d'ionisation bien construite a pour conséquence que l'on peut prendre pour étalon d'ionisation celle d'une énergie radiante bien déterminée.

Le radium constitue un étalon de choix, aussi invariable qu'il est dans les conditions humaines d'expériences.

On pourra ainsi prendre comme unité de rayonnement, celui qui est capable de produire la même ionisation qu'une certaine quantité de Radium.

Cette façon de procéder a été proposée par Winaver et Sachs (17) en Allemagne, par le docteur Solomon en France.

UNITÉ R

Dans cette voie le docteur Solomon a proposé de prendre comme unité d'énergie Rontgœnienne l'unité R ou Rontgœn, c'est à dire la quantité d'énergie absorbée produisant une ionisation équivalente à celle de 1 gramme de Radium élément, placé à 2 cm. de la chambre d'ionisation, et filtrée à travers 0 mm. 5 de platine, pendant une seconde.

Un dispositif ionométrique quelconque, pourra être gradué grâce à cette méthode. Mais chaque appareil devra être gradué avant d'être livré au radiologue. Le constructeur devra indiquer le nombre d'unités R qui correspondent à une graduation du dispositif.

Critique des autres moyens de mesure employés en radiologie médicale

D'une façon générale nous pouvons mesurer une énergie, soit en mesurant la cause qui lui donne naissance, soit en mesurant les effets dont elle est la cause. Dans la pratique radiologique il n'en est pas tout à fait de même.

La valeur de ces méthodes est inégale à cause des erreurs bien connues.

A. Mesure basée sur les caractéristiques du courant excitateur de l'ampoule, (18).

Un rapport très précis existe entre la longueur d'onde d'un rayonnement X et la différence de voltage aux bornes de l'ampoule.

Si nous désignons par H la longueur d'onde, par V le voltage aux bornes de l'ampoule,

$$H = \frac{12400}{V} \quad (\text{Formule de Millikan}).$$

Ce voltage pourrait nous indiquer le degré de pénétration des rayons. On pourrait connaître la constante d'absorption de l'unité élémentaire de tissus, et d'autre part l'intensité du courant du secondaire.

Ainsi l'on connaîtrait l'intensité I_0 à la surface.

Pour avoir l'intensité à une certaine profondeur, il suffirait d'appliquer la loi exponentielle bien connue.

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

I = intensité après absorption ; I_0 intensité initiale ;
 e = base des logarithmes népériens = 2,72 ; x = épaisseur traversée.

La quantité d'énergie absorbée serait donnée par cette formule aussi bien à la surface qu'en profondeur.

$$\mu = \frac{2,3}{x} \log I_0 - \log I \text{ cm}^{-1}$$

Les résultats que fournirait cette méthode seraient faux pour les raisons suivantes :

1. Les radiations ne sont pas monochromatiques. Il faudrait pour se rendre compte des doses absorbées d'une somme d'exponentielles impossible à déterminer.

2. Le voltage du secondaire est difficilement mesurable.

Le spintermètre donne des étincelles équivalentes variables pour le même voltage selon sa forme, et aurait-on des spintermètres à boules d'un diamètre donné, cette mesure ne serait qu'approchée.

Le spintermètre n'indique que le voltage maximum.

Le voltmètre électrostatique d'Abraham et Villard n'indique que le voltage moyen.

3. Connaîtrions-nous le voltage exact et pourrions-nous par un filtrage judicieusement choisi avec un métal lourd, avoir un rayonnement pratiquement homo-

gène, les doses calculées par cette méthode seraient fausses. Cette formule ne tient pas compte en effet du rayonnement diffusé dont l'importance est énorme.

Friedrich, en appliquant cette formule, avait trouvé pour un rayonnement donné que la dose devait être de 8,4 pour cent à 10 centimètres de profondeur. Une mesure ionométrique lui montra qu'elle était en réalité de 31. La formule exponentielle avait donné par conséquent 356 pour cent d'erreur.

Les indications fournies par ce procédé ne seront valables pour un appareillage donné, que lorsqu'avec un voltage et un ampérage connu on aura déterminé les doses en surface et en profondeur en tenant compte de :

La distance de la peau à l'anticathode.

La filtration.

La largeur de la porte d'entrée.

L'appareillage devra avoir un rendement constant pour ne pas commettre d'erreur. Pour les bobines en particulier, la vitesse de l'interrupteur aura une grosse importance.

MESURES BASÉES SUR LES EFFETS DES RAYONS X

En dehors de l'ionométrie, on classe les méthodes de 5^e genre en 3 groupes, celles basées :

1° Sur des réactions chimiques.

2° Sur la diminution de résistance électrique du sélénium sous l'influence des rayons.

3° Sur la fluorescence du platino cyanure de Baryum cristallisé.

I. MÉTHODES BASÉES SUR DES RÉACTIONS CHIMIQUES.

La plupart de ces méthodes sont des procédés colorimétriques. Une seule méthode chimique est une méthode pondérale.

Procédés colorimétriques.

a) Pastilles d'Holz knecht.

La première méthode de dosage préconisé par Holz knecht est basée sur ce fait, qu'un mélange de chlorure de sodium et de sulfate de cuivre vire du vert clair au brun foncé par irradiation. Après irradiation, on compare la coloration obtenue à la coloration d'un degré d'une échelle préalablement établie et graduée en unité H.

b) Pastilles de Sabouraud-Norré.

Ces pastilles constituent un procédé de mesure basé sur l'effet Villard (brunissement du platino cyanure de Baryum par l'irradiation). Comme cet effet n'est pas très intense, on place généralement la pastille à mi-distance de la peau et de l'anticathode pour quadrupler le brunissement.

Une échelle donne la teinte B à laquelle il faut arriver dans de telles conditions pour obtenir 5 H.

c) Procédé de Kienböh.

Il consiste à irradier un papier de gélatino-bromure d'argent et de le développer avec un bain déterminé, à une température donnée. On compare le noir du papier à un noir d'une échelle établie à l'avance.

Procédé Pondéral.

Tous les procédés précédents ont au moins une grosse cause d'erreur : l'appréciation personnelle. Pour obvier à cet inconvénient, Guillemot a proposé un étalonnage basé sur la décomposition de l'iodoforme par les rayons de Röntgen (réaction de Frund). Il définit aussi son unité qu'il désigne par la lettre M. C'est la quantité d'un rayonnement 6 B qui tombant sur une solution d'iodoforme à 2 pour cent, et s'étalant sur une surface de 1 centimètre libère 1×10^{-8} gr. d'iode par centimètre cube.

Critique des procédés chimiques.

Le seul mérite de ces procédés, c'est d'être des procédés intégrateurs ; mais le défaut commun à toutes ces méthodes, c'est d'employer des corps qui n'ont pas une absorption parallèle à celle des tissus, et qui présentent le phénomène de l'absorption sélective pour les longueurs d'onde employées usuellement.

Par exemple, l'argent commence brusquement son absorption sélective pour une longueur d'onde = $4,9 \times 10^{-8}$ cm., c'est-à-dire une longueur d'onde voisine de celles que l'on emploie en radio-diagnostic. Si l'on a mesuré la dose d'érythème avec une telle longueur d'onde, c'est-à-dire si par la méthode de Kienboch, on a cherché le degré de noirceur de papier correspondant à l'érythème, on ne pourra pas en induire la dose pour un autre rayonnement.

L'erreur due à l'appréciation personnelle joue un grand

rôle. Pour des expérimentateurs exercés, elle peut s'élever à 25 pour cent environ.

D'autres agents physiques influent sur les réactifs : la chaleur, la lumière par exemple pour le platino-cyanure de Baryum, l'iodoforme.

II. PROCÉDÉ BASÉ SUR LA DIMINUTION DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE DU SÉLÉNIUM.

Proposé par Fursteneau, ce procédé consiste à mesurer le courant électrique qui passe dans un fil de sélénium avant et après irradiation.

L'augmentation de conductibilité mesure l'intensité du rayonnement absorbé par le sélénium.

Cet appareil est défectueux pour plusieurs raisons :

1. Cet appareil est un intensimètre, c'est-à-dire n'exprime que la dérivée du travail par rapport au temps. Son utilisation exige un débit constant de l'ampoule.

2. Le sélénium présente le phénomène de l'absorption sélective.

Au bout d'un certain temps de son emploi, le sélénium a une moindre diminution de résistance pour une même énergie absorbée : ce que l'on exprime en disant qu'il y a fatigue du sélénium.

III. PROCÉDÉ BASÉ SUR LA FLUORESCENCE DU PLATINO-CYANURE DE BARYUM (19).

Proposé par Guillemainot, ce procédé consiste à amener une égalité de teinte entre un écran de platino-

cyanure et un écran phosphorescent mis côte à côte, en s'éloignant de l'ampoule à une distance convenable.

Ayant mesuré cette distance, une règle à calcul donne immédiatement l'intensité par simple lecture.

Cette intensité est exprimée en unité M.

L'erreur personnelle existe ; mais moindre d'après l'expérience que par les autres procédés.

La diminution de phosphorescence de l'écran de comparaison est minime.

Mais cet appareil est aussi un intensimètre, de plus : platine et le baryum présente des absorptions sélectives.

Ces procédés proposés à l'heure actuelle, dont la multiplicité témoigne assez de leur imperfection, ne sont pas aptes à mesurer l'énergie absorbée au sein des tissus. La principale préoccupation des auteurs étaient de pouvoir repérer le moment où un érythème pouvait se produire.

Les critiques que les divers auteurs leur ont adressées, s'opposent aux avantages de l'ionométrie, qui s'appuie sur des bases physiques rationnelles.

Ces méthodes ont créé de nombreuses unités, la méthode ionométrique n'en crée qu'une qui soit rationnelle, puisque fatalement on comparera l'ionisation produite par les rayons X avec l'ionisation produit par une certaine quantité de radium.

CONCLUSIONS

Aujourd'hui, il est aisé de critiquer les anciens moyens de mesure, alors que nous possédons sur l'énergie radiante des données physiques beaucoup plus précises que ceux qui créèrent les premiers quantitomètres.

Il serait injuste de ne pas avoir un sentiment de reconnaissance et d'admiration pour les premiers pionniers de la radiométrie : Benoît, Holznecht, Sabouraud, Noiré. Il ne faut pas dénigrer des inventeurs sous prétexte que leurs inventions ont été considérablement perfectionnées depuis le jour où elles naquirent.

Ces auteurs ont permis à la radiothérapie d'exister. Mais cette radiothérapie était autre que celle pratiquée aujourd'hui. Le rayonnement utilisé était dans les gammes mesurables au radiochromomètre de Benoît. Les mesures de quantité, très imprécises pour de pareils rayonnements, le seraient encore plus aujourd'hui avec nos hauts voltages.

L'Ionométrie doit en clinique remplacer les autres méthodes de mesure pour les raisons suivantes :

1. L'Ionométrie, sans atteindre un degré élevé de précision, laisse loin derrière elle les autres procédés de mesure.

Cette première méthode donne 2 à 5 % d'erreur, les autres 25 à 30 %.

Son approximation est très suffisante pour les besoins de la clinique.

2. L'Ionométrie unifie les mesures de quantité, en ce sens qu'elle mesure la dose absorbée quelque soit le degré de pénétration des rayons. On peut se rendre compte de la dose absorbée par les couches superficielles et profondes.

3. Ce procédé de mesure, basé sur des données physiques solides, permet d'adopter une unité de mesure quantitative pour tous les dispositifs.

4. Le phénomène d'ionisation est insensible aux effets physiques autres que le rayonnement lui-même. Des rayonnements antérieurs ne modifient en rien l'intensité du phénomène.

5. Pour les recherches, cette méthode est la seule qui nous permette de mesurer avec rigueur et de se rendre compte si la qualité du rayonnement influe ou n'influe pas sur la thérapie d'une affection déterminée.

6. En clinique, certains pourraient alléguer qu'il y aurait intérêt à garder les anciens procédés de mesure, si une difficulté trop grande d'application était une rançon trop lourde du progrès accompli. Mais il n'en est rien. Grâce aux dispositifs actuels, la méthode est une des plus simples : nous dirions volontiers la plus simple.

7. En plein traitement, nous pouvons mesurer de loin la dose reçue à la superficie : d'où facilité de protection.

Nous espérons voir la méthode se répandre de plus en plus parmi les radiologistes. Ceux-ci pourront s'entendre enfin pour remplacer cet amas encombrant d'unités, par une unité physique unique, internationale. Pourquoi ne pas adopter l'unité R₂.

En pratique radiothérapique, cet accord aurait une importance de même ordre que l'unification des poids et mesures. Les radiothérapeutes arriveront à se comprendre sans effort, ils donneront des renseignements plus précis sur leurs méthodes, leurs doses qui ont amené la régression de telle ou telle lésion. Un progrès énorme aura été accompli alors, grâce à la méthode ionométrique.

Vu le Doyen,

ROGER.

Vu le Président,

A. BROCA

Vu et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

APPEL.

Limoges, Imp. Commerciale Perrette



